

教養部における化学演示 実験と受講生の反応

原 稔

(1991年4月30日受理)

Chemical Demonstration Experiments and the Reaction of Students to them

Minoru HARA

キーワード：化学演示実験，大型デジタル電圧計，受講生の反応，電気化学実験

Key Words : Chemical Demonstration, Electrochemical Experiments,
Large Digital Voltmeter, Reaction of Students

1. 緒 言

自然科学の教育において，学生実験が大切であることは言うまでもないが，時間，設備の関係で演示実験，講義実験，供覧実験などと呼ばれる実験が必要になることもある。化学の演示実験では，色の変化を伴うような定性的実験が人気もあり，教育的効果も大きいようである。定性的実験はもとより非常に大切であるが，少し細かな話をするためには定量的実験も必要になり，ある程度の測定精度も要求される。その上，多人数の学生すべてが測定値を確認できるような配慮が必要である。ここでは，教育学部と人文学部の教養部1年生のための化学講義（受講生150から200名）で7年間に行った約50種類の演示実験の中から大型電圧計を使用した3例を取り上げ，方法，受講生の反応に考察を加えて報告する。実験に対する受講生の感想と質問は，講義内容を改善する資料にするために，毎回の講義の終わりの10分間に行った「今日の講義についての感想と質問」という小レポートの中から，出現数の多い項目とユニークなもの¹⁾を取り上げた。

2. 装置および試薬

平面型発光ダイオードを組み合わせた大型数字表示器として，1文字の大きさが110×60mmのロジパック製L-06型を3個用い，3桁の数値を表示できるようにした。小数点の位置はスイッチで切り替えるようにした。

電圧計は，C-MOS二重積分型A/Dコンバーター，TSC7135を持つロジパック製の4 1/2桁LCDパネルメーターD-64P型を用い，両者をBCDダイナミック法で接続した。表示器用電源には直流24Vを，電圧計用には安定化5V直流電源を用いた。

pHメーター用の回路は，文献の回路の一部を変更して組み立て，pH値が電圧計に表示されるようにした²⁾。初段増幅器には，超高入力インピーダンス型オペアンプ， μ PC252Aを用い，入力保護用のツェナー・ダイオードには，2個のシリコントランジスター，2SC1000のベース-エミッタ接合を使用した。なるべく簡単な回路にするため，温度補償回路は省略したが，pHメーターを使用する直前にいつも標準溶液で校正し，長時間続けて使用することはないので問題はない。ガラス電極にはHORIBA1036A-05T，比較電極には東亜電波製飽和カロメル電極（SCE）を使用した。

pH標準溶液としてリン酸塩緩衝溶液とフタル酸塩緩衝溶液を用いた。

3. 実験例および受講生の感想・質問

実験1. ボルタの電堆とダニエル電池

約3cm四方の銅板と単1マンガン乾電池からはずした同サイズの亜鉛板の間に希硫酸で湿らせた濾紙を挟み、両金属板が互いに接触しないようにしてボルタの電堆の代用とする。また、ダニエル電池の代用品は、1mol/l硫酸銅と1mol/l硫酸亜鉛を入れた各ビーカーにそれぞれ銅板、亜鉛板を浸し、両溶液を希硫酸で湿らせた濾紙（塩橋）で液絡して作る。これらの電池は、豆電球を点灯するほど大きな電流は取り出せない。

ボルタの電堆、ダニエルの電池の電圧は、それぞれ0.7~1.0V、1.0~1.1Vを示した。まず、電圧発生メカニズム、各電池の特徴を説明した後、ボルタの電池発明6週間後に、他の研究者により水の電気分解が行われ、数年後にはデービーにより電気分解で6種類の新元素が次々と発見されたときの電源になったという化学史上の意義についても述べた。さらに、テキストのネルンスト式や標準酸化還元電位との関係について触れた。³⁾

受講生の感想と質問

- ・ちっちゃな電堆でも生意気に電池になっているんだと思った。
- ・電池ぐらいと思っていたが、中身がそんな元素の集まりであったとはすごいと思う。
- ・あつという間に出来た電池が0.7Vもの電圧を示したのでびっくりした。
- ・実験はきちんとしないと計算どうりにならないんだと思った。
- ・それにしても今の乾電池は便利だ。
- ・イオン化傾向が標準酸化還元電位によって知ることができるなんて高校より一歩進んだ気分。
- ・モルとか対数が出て来ると何のことだか分からなくなる。
- ・ネルンスト式は難しい。
- ・ネルンスト式からいろいろな電池の電圧が求められることを知り、面白かった。
- ・濃度と電圧という異質なようなものが関連あ

て面白い。

- ・実験がよく分からなかった。
- ・電池と電気分解の電子の移動が難しくて分からない。
- ・電池分野は分からないので嫌いだ。
- ・みんなの感動は、実験そのものよりも電光掲示板の方にあったようだ。
- ・ボルタの電池は、材質の違うナイフとフォークを同時に舌に当てたときビリッときたのが発見の動機と聞いた。
- ・ボルトはボルタという人名にちなんで付けられたのかと思った。
- ・レポートについて詳しく解説されるのでとてもよい。
- ・別に化学的知識がなくても電気は使える。あっても悪いものではないが。
- ・どんな立派な発明であっても初めやきっかけはごく些細なあるいは単純なことが多い。それを後世の人間がいろいろひねくりまわしてより複雑なものを形成するため、私達習う側からみれば、訳の分からない公式や実験に振り回され、元の形が分からないことがままあると思う。だから、どんな複雑なものでもそれを単純化して見せてもらえば、より理解出来ると思う。
- ・もっと緊張感のある高度な実験を期待する。
- ・高校の化学の焼き直しのように面白くなかった。
- ・年代史的なことは面白くない。
- ・面白くなかった。
- ・難しい式で頭が痛い。
- ・ボルタはなぜあんな発見ができたのか。
- ・ボルタは電流をどう確かめたか。
- ・電堆の銅の役目はなにか。
- ・全ての電池はボルタの電池を基礎にしているのか。
- ・デービーは何を電気分解したのか。
- ・ダニエル電池は常に1.1Vか。
- ・イオンが塩橋を渡ったら、硫酸銅溶液に亜鉛イオンが混じるのではないか。
- ・亜鉛極から出た電子は、どうして銅がなければ硫酸や硫酸溶液と反応できないのか。
- ・亜鉛が亜鉛イオンになるということは、電気を流すと亜鉛極が小さくなるのか。

- ・硫酸亜鉛溶液と硫酸銅溶液が混ざらないようにするのはなぜか。
- ・電池の電圧と溶液の量は関係あるのか。
- ・どうして電池は無くなるのか。
- ・電灯もテレビもない時代に何の必要があって電池が作られたのか。

実験 2. 燃料電池

文献⁴⁾に基づき、白金黒電極を用いた水の電解装置を作製する。電解液として希硫酸、電源には乾電池を使用して、水の電気分解を行う。酸素、水素がある程度生成したところで電源を切り、電解装置の両極を電圧計に接続する。

水の電気分解を式で説明した後、逆反応が効率よく起これば電池を形成することができ、生成物として水が得られることを説明した。また、この原理は初めて人類を月へ送ったアポロ宇宙船の電源に使われたということを付け加えた。最近、木炭を電極として豆電球を点灯させる燃料電池の実験法⁵⁾が報告された。

受講生の感想と質問

- ・燃料電池というものがあることは知らなかった。
- ・水の電解の逆で電池になるのは知らなかった。
- ・最近の実験だなんてあまり思えないが電圧計の大きさに感激。
- ・電気分解と電池の実験が同じ装置で出来ることを知った。
- ・化学反応で発電できるとは面白い。
- ・水素と酸素から出来る燃料電池はゴミを出さないからとてもいい。
- ・電気分解の実験を家で出来るなんて知らなかった。
- ・前に電気分解をやったときは、仰々しい装置を使ったが、ここではごく簡単にやったので驚いた。今までむりやり難しくやってきたため化学嫌いを作ったのではないか。
- ・何が何だかよく分からなかった。
- ・高校で電池のこと習っていたので分かったが、習っていない人はたぶん分からない。
- ・黒い白金があるとは。
- ・白金でないとどうして逆反応が起きないのか。

- ・白金と白金黒でどうして性質が異なるのか。
- ・どうして純粋な白金でも黒色なのか。
- ・白金は化学反応しにくい物質なのに、めっきする必要があるのか。
- ・水を電気分解するとき、なぜ交流電流を流してはいけないのか。
- ・電解で硫酸は反応に関与していないのか。
- ・燃料電池の電圧の減少は水素、酸素の量に左右されるか。
- ・水素と酸素で水が出来るのは分かるが、どういう過程で電気が発生するのか。
- ・他の物質でも燃料電池は作れるか。
- ・燃料電池は爆発しそうだが、危なくないか。
- ・水素と酸素と白金を瓶に入れておくと水ができるか。
- ・文字板はどうやって作ったのか。

実験 3. pH測定

pHメーターを標準溶液で合わせた後、身近にある酸っぱいものの代表としてレモンを搾ってその汁のpHを測定する。

次に、3個のビーカーに、希塩酸、水、希硫酸化ナトリウム溶液を入れておき、各ビーカーにチモールブルーのアルコール溶液を加えて、酸性色（赤）、中性色（黄）、塩基性色（青）を呈示しておく。次に、各ビーカーに酢酸—酢酸ナトリウム混合溶液を加える。酸性色、塩基性色を示していた溶液が変色した後のpHを測定する。また、ツツジの花の汁やシソの葉の汁が、チモールブルーと類似の変色をすることを演示する。

レモンのpHは一般に2～3を示す。チモールブルーが赤や青に呈色している溶液に酢酸—酢酸ナトリウム溶液を加えると、共に黄色に変化する。この時点で、緩衝溶液の性質を知らない学生は色の変化に驚きかつ理解に苦しむようである。そこで、酢酸の解離平衡から緩衝作用について説明した。他の有名な指示薬の変色域についても述べた。

受講生の感想と質問

- ・ツツジが指示薬になるとは、思いもよらなかった。
- ・ツツジをアルカリ性の土地に植えたら黄色の花

が咲くか。

- ・花びらをわざわざ拾ったとは驚いた。
- ・身の回りの物を使うと興味が持てる。
- ・酸性・アルカリ性の検査は、リトマスやBTBなどを使わないと出来ないと思っていた。
- ・リトマスの変色域を今まで知らなかった。
- ・緩衝液って不思議だ。
- ・化学では単に実験しているだけと思ったら、排水のことまで気を使っているのが驚いた。
- ・今日の実験は家でもできると思った。
- ・身近なものが、化学の実験に使えるのは不思議な気がしたが、考えてみれば、回りのものすべてが化学に関係あることだったんだなあと思いためて感じた。
- ・もっと専門的なことが欲しかった。
- ・何をするかははっきりしないので、何の実験か分からない。
- ・私の家は、サツキ店です。
- ・pHによって色が変化するのとは当たり前だが、どうしてそうなるのかは分からない。
- ・pHにより色が異なるのは、出る色素が違うのか。
- ・咲いている花に塩酸やアンモニア水をかけても色の変化がみられるか。
- ・アントシアン系色素以外でもpHで変色するか。
- ・アントシアン系色素は、他にどんな物に含まれるか。
- ・葉の紅葉も、色素が変わるのか。
- ・アジサイの色の変化はpHの違いによるのか。
- ・アジサイの花は、何のために色を変えるのか。
- ・ツツジの花の汁は中性か。
- ・リトマスの代わりに紫キャベツでもできるか。
- ・梅干しが赤い色をしているのは、シソの葉が酸に反応しているためか。
- ・花の汁を使った酸・アルカリの実験を家でするとき、水酸化ナトリウムや硫酸の代わりに使えるものはあるか。
- ・pHは、何の略か。
- ・指示薬は、どんな化学変化か。
- ・チモールブルーがアルコールの中で赤いのは、アルコールが酸性だからか。
- ・pH緩衝作用を持つものには、他にどんな物質が

あるか。

- ・緩衝溶液を入れすぎると、赤や青にならないか。
- ・緩衝作用は、混合溶液でないとダメか。
- ・酢酸ナトリウムだけでは、あの様な結果にならないのか。
- ・何かと何かを混ぜると違った物質になるのは分かるが、どうして色が変わるのか。
- ・植物とかの生きているものにも、化学式というものは立てられるのか。

4. 考 察

この演示実験では、はじめ普通の大きさのデジタル電圧計、次に市販アナログ式講義用電圧計にオペアンプのボルテージ・フォロワー回路をつけたものを使用してきたが、それぞれ、文字が小さすぎる、座席の位置により指針の読みが異なるという欠点があった。大教室で電圧計を使って演示するためには大型文字盤^{2,6)}、パソコン画面⁷⁾、ビデオカメラとテレビ、OHP投影用メーターを使用する方法などがあるが、教室の設備を考えると大型のデジタル式が最適であった。変更した結果、メーターが読めない者がいなくなり、それぞれが実験に参加しているという気持ちを起こさせたようである。

受講生の感想を見る限りでは、演示実験に身近な材料を使うことはかなり好感を持って迎えられたようである。身近な物と化学がつながった、日用品を使っても化学の実験が出来るとは、というような喜びや驚きは、しばしば見られた。彼らにとって、化学は教室の中だけのものであり、化学実験は実験器具と試薬瓶中の薬品を使わなければ行えないものであったのであろうか。実際に、帰宅後に台所用品を使って追試をした者もいた。これらのことから、身近なものを演示実験に用いて、化学に興味を持たせようとした目的は、ある程度達成されたと考えられる。しかしながら、テーマによって数に差はあるものの、理解できない、面白くないという感想が必ず見られた。面白くないと思う原因には、理解できないから、講義のレベルが低いからという二つがあろう。クラスの中には、化学が大好きという者から高校で履修していない者もいて、知識・関心のレベルにかなりの差が

みられる。身近なものを教材にすると、それぞれのレベルなりに得るものがあると考えられるが、教材の選択と取り上げ方はさらに検討を必要とする。小レポートの質問は、素朴なものが多いが、中には予想しなかった鋭い質問も含まれていた。演示に身近なものを使うと、質問の数が俄然多くなった。これは、ひとたび化学的知識と日常生活がつながると、いろいろな疑問が溢れ出て来るためであろう。

回収した小レポートは、次回の講義までにすべて目を通し、各感想・質問とそれぞれの人数を記録し、その結果を次回の講義の始めに報告した。人数の多かった感想やユニークな感想を紹介した後、人数の多かった質問と重要な質問についてはさらに解説を加えた。レポートを出欠調べ程度に考えていた受講生も、すべて目を通されると知ってからはレポート内容も変わり、講義や実験についての批判・提案、自分達の受講態度の反省、紹介した意見への反論から自分の感想や質問が取り上げられて嬉しかったことまで報告してきて、ささやかながらもコミュニケーションに役立った。また、受講生の率直な意見を知ることができ、以後の教材の選択や講義の進め方に大変有益であった。

この講義を行ってみて、あらためて身近な物質についての関心の低さに驚いた。毎日のように見たり触ったりして、場合によってはラベルに物質名が記載されているにもかかわらず、それが

何から出来ているのか知らない者が多かった。確かに、身の回りには得体の知れないものが沢山ありすぎていちいち関わってられない、また、知らなくても支障がないということもあろう。しかし今後の地球環境を考えた場合など、自分が今何を使っていて、それは何から作られていて、廃棄した時何処でどうなるかに無関心ではいられなくなるであろう。これは、大学生になってからではすでに遅く、高校では勿論のこと、小学校・中学校の理科の時間などにも折りに触れて児童・生徒に理解できる範囲で身近なものとの関連に触れたいものである。そのためには教師自身が身の回りのものについてより正しく理解する必要があるので、理科教材研究などで積極的に取り入れる必要があろう。

文 献

- 1) 加藤俊二, 化学と工業, **36**, 698 (1983).
- 2) G.H. Myers, R.J. Dugan, J. Chem. Educ., **54**, 495 (1977).
- 3) 今井弘, 他, 「新化学」, 化学同人 (1974).
- 4) 山内繁, 科学と実験, **1981**, No. 10, 15.
- 5) 藤井舜介, 北川英基, 水野博文, 中山雄一, 化学と教育, **39**, 92 (1991).
- 6) 平田邦男, 「先生と生徒のためのエレクトロニクスの実験」, 共立出版, p. 164 (1979).
- 7) 平田邦男, 「パソコンによる物理計測入門」, 共立出版, p. 120 (1985).